

Docket No.: 60188-715

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Shuichi NAGAI	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: November 21, 2003	:	Examiner:
	:	
For: OPTICAL FUNCTIONAL DEVICE AND OPTICAL MODULE	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

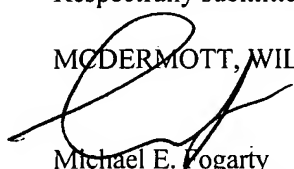
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. JP 2002-340703, filed on November 25, 2002.

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY



Michael E. Fogarty
Registration No. 36,139

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 MEF:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: November 21, 2003

60188-715
Shuichi NAGAI
November 21, 2003

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 1 月 2 5 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 4 0 7 0 3
Application Number:

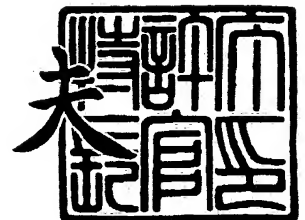
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 3 4 0 7 0 3]

出 願 人 松下電器産業株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 3 3 8 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 2925030099

【提出日】 平成14年11月25日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/24

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 永井 秀一

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077931

【弁理士】

【氏名又は名称】 前田 弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100094134

【弁理士】

【氏名又は名称】 小山 廣毅

【選任した代理人】

【識別番号】 100110939

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 宏

【選任した代理人】

【識別番号】 100110940

【弁理士】

【氏名又は名称】 嶋田 高久

【選任した代理人】

【識別番号】 100113262

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 祐二

【選任した代理人】

【識別番号】 100115059

【弁理士】

【氏名又は名称】 今江 克実

【選任した代理人】

【識別番号】 100115510

【弁理士】

【氏名又は名称】 手島 勝

【選任した代理人】

【識別番号】 100115691

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤田 篤史

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014409

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0006010

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光機能素子および光モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに等価屈折率が異なる 2 本の光導波路と、
前記 2 本の光導波路を光軸方向に沿って連結する連結部と
を備えた、光機能素子。

【請求項 2】 第 1 の光導波路と、
前記第 1 の光導波路の等価屈折率よりも低い等価屈折率を有する第 2 の光導波
路と

前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路とを光軸方向に沿って連結し、かつ
、多モード干渉導波路として機能する連結部と
を備えた、光機能素子。

【請求項 3】 前記連結部は、前記第 2 の光導波路を通過する光を多モード伝
搬させて、前記第 1 の光導波路へと結合させる部位である、請求項 2 に光機能素
子。

【請求項 4】 前記第 1 の光導波路は、その中を通過する光を単一モード伝搬
させる、請求項 3 に記載の光機能素子。

【請求項 5】 前記連結部の等価屈折率は、前記光軸方向に沿って連続的また
は段階的に変化している、請求項 1 から 4 の何れか一つに記載の光機能素子。

【請求項 6】 前記連結部の等価屈折率は、前記光軸方向と略垂直な方向に沿
って連続的または段階的に変化している、請求項 1 から 4 の何れか一つに記載の
光機能素子。

【請求項 7】 屈折率が互いに異なる 2 本の光導波路と、
両者を連結する連結部と
を備え、

前記 2 本の光導波路のうち、屈折率の大きい光導波路からの入射光は、当該光
導波路中を単一モードで伝播し、

前記 2 本の光導波路のうち、屈折率の小さい光導波路からの入射光は、当該光
導波路および前記連結部において多モードで伝搬し、それにより、光非相反性が

実現されている、光機能素子。

【請求項 8】 第 1 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路の等価屈折率よりも低い等価屈折率を有する第 2 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路とを光軸方向に沿って連結する連結部と

を備え、

前記連結部は、前記第 2 の光導波路の導波路幅を選択に広くすることによって形成されている、光機能素子。

【請求項 9】 前記第 1 の光導波路および前記第 2 の光導波路は、それぞれ、平面光導波路であり、

前記第 1 の光導波路および前記第 2 の光導波路は、水平方向に配置されている、請求項 8 に記載の光機能素子。

【請求項 10】 前記第 1 の光導波路および前記第 2 の光導波路は、それぞれ、平面光導波路であり、

前記第 1 の光導波路が下層に位置し、その上層に前記第 2 の光導波路が位置している、あるいは、前記第 2 の光導波路が下層に位置し、その上層に前記第 1 の光導波路が位置している、請求項 8 に記載の光機能素子。

【請求項 11】 前記第 1 の光導波路および前記第 2 の光導波路は、それぞれ、コアおよびクラッドから構成されており、

前記第 1 の光導波路の等価屈折率と前記第 2 の光導波路の等価屈折率との差違は、前記クラッドによって決定されている、請求項 8 に記載の光機能素子。

【請求項 12】 前記第 1 の光導波路のクラッドおよび前記第 2 の光導波路のクラッドは、同一材料から構成されており、

前記第 1 の光導波路のクラッドの厚さと、前記第 2 の光導波路のクラッドの厚さとの差違によって、前記等価屈折率の差違が決定されている、請求項 11 に記載の光機能素子。

【請求項 13】 光アイソレータ、光サーキュレータおよびモード変換器のうちの少なくとも 1 つの機能を有する、請求項 1 から 12 の何れか一つに記載の光

機能素子。

【請求項 14】 光アイソレータおよび光サーキュレータの少なくとも一方として機能する光機能素子と、レーザ素子と、受光素子とを含む光モジュールであって、

前記光機能素子は、請求項 1 から 12 の何れか一つに記載の光機能素子である、光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光機能素子および光モジュールに関する。特に、光伝搬を制御する光機能素子（例えば、光アイソレータ、光サーキュレータ）、およびそれを含む光モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】

高速光通信システムでは、光部品や光機能素子等の端面から反射戻り光が生じることがある。この反射戻り光は、半導体レーザ等の光源の発振を不安定にして、特性悪化を招くので好ましくない。したがって、戻り光を遮断する光アイソレータは、半導体レーザや光増幅器等の光機能素子を用いるときには、欠かせない重要な素子となっている。

【0003】

また、一方向の光のみを分離し取り出すことができる光サーキュレータも、双方向光通信等の光通信処理システムの構築には不可欠な素子である。光アイソレータ及び光サーキュレータは、光の伝搬方向で出力強度特性が異なるといった光非相反性を有する素子であり、様々な分野で使用されるため、重要な光機能素子であるといえる。

【0004】

光アイソレータ及び光サーキュレータの機能の概略を、それぞれ、図 9（a）および（b）に示す。図 9（a）に示すように、光アイソレータは、一方向からの光は透過させるが、その逆方向からの光は遮断する機能を有している。そして

、図 9 (b) に示すように、光サーキュレータは、一方向からの光は通過させるが、その逆方向からの光は遮断し、別の方向へ分離させる機能を有している。

【0005】

図 9 (a) で示した機能を有するバルク型光アイソレータの構成を、図 10 に示す。

【0006】

光非相反素子として一般的なバルク型光アイソレータは、磁化された磁性結晶 25 によるファラデー効果を利用しており、磁性結晶 25 と偏光素子 26 とを組み合わせた構成によって、一方向の光 (+Z 方向の光) を通過させて逆方向の光 (-Z 方向の光) を遮断することができる。つまり、磁性結晶 25 (ファラデー回転子) に入射した光の偏波方向が、磁化方向により 45 度回転するため、光入射方向によって出力特性が異なる光非相反性を示す。導波路型光アイソレータについても、同様な原理に基づいており、磁気光学効果を利用した磁性体材料と偏光子との組み合わせによって構成されている。

【0007】

次に、一心双方向光モジュールの構成を図 11 に示す。図 11 に示した光モジュールは、光ファイバ 36 と、シリコン基板 37 およびガラス基板 38 とから構成されており、シリコン基板 37 上にモニタ用フォトダイオード 32 および半導体レーザ 33 が載置され、ガラス基板 38 上に受信用フォトダイオード 35 が載置されてるとともに、ガラス基板 38 に波長分離フィルタ 34 が挿入されている。

【0008】

この光通信用光モジュールにおいて、光出力強度は通信品質に関わるので重要である。したがって、構成部品数が少なく簡素な構成にして結合損失を小さくできるのであれば、その方が好ましい。さらに、構成素子数を減らし簡素な構成にすることができれば、光モジュールの低コスト化を実現することができる。

【0009】

なお、後述するが、関連する出願として、特許文献 1 がある。

【0010】

【特許文献 1】

特開平 7-283485 号 (第 3 図)

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、光アイソレータ等の光非相反素子では、磁気光学効果を用いて光非相反性を実現している。この磁気光学効果に基づくバルク型光非相反素子には、ファラデー回転子や偏光を制御する素子等が必要なため、素子サイズが大きくなる問題や各素子間光結合の位置合わせが困難であるといった問題が生じる。

【0012】

また、光非相反素子は半導体レーザ等の導波路型光機能素子との組み合わせとして用いられるところ、光モジュールにおいて、バルク型では光結合にレンズ等が必要であり、それゆえ、集積化が困難であるという問題もある。さらに、この磁性体材料を半導体基板上に成長させることは困難であるので、半導体レーザ等の半導体光機能素子と光非相反素子とをモノリシック・光集積化することによって、簡易的構造かつコンパクトなサイズにすることも出来ない。

【0013】

したがって、偏光子や磁性材料を用いることなく、半導体レーザ等と集積可能なコンパクトで偏光無依存な光導波路型光非相反素子を実現できれば、非常にメリットが大きい。なお、光機能素子にレンズフリーで結合でき、集積化に適した光導波路型光アイソレータも提案されているが、この光導波路型光アイソレータも、バルク型のものと同様な原理に基づいており、素子構成が複雑なため、素子サイズもコンパクト化が図れないといった問題がある。

【0014】

磁気光学効果を用いない導波路型光アイソレータが例えば特許文献 1 に提案されている。その光アイソレータを図 12 に示す。

【0015】

図 12 に示した光アイソレータは、等価屈折率が小さいクラッド領域 30, 31 と、等価屈折率が大きく光を導波する導波路領域 27, 28 と、導波してきた

光を吸収して光強度を減少させる吸収層 29 とから構成されている。ここで、クラッド領域 30、31 の等価屈折率は同じである。

【0016】

光導波路 27 に入射された光は吸収層 29 に吸収されるので、導波路 27 から出力されない。一方、導波路 28 に入射された光は、導波路 27 から出力される。この光アイソレータは、導波路 28 から導波路 27 のみへ光が伝搬し、そして、導波路 27 からは吸収層 29 と導波路 28 とに光が分配されて分岐するため、非相反性を有する。

【0017】

しかしながら、この光アイソレータには、素子特性が良くない、素子サイズが大きい、導波路入射角があり接続が困難であるなどの種々の問題点がある。素子特性が良くないことについて、より詳述すると、図 12 に示した構成は、Y 字分岐型導波路結合部と光吸収部とが結合された構造をしているので、左から入射した光は吸収部だけでなく、細い導波路にも光が伝播するので、結果として戻り光が大きくなる。つまり、光アイソレーション比として評価できる光を遮断する効率が悪く、素子特性が良くないということになる。

【0018】

また、図 11 に示した一芯双方向広帯域光通信用光モジュールに、図 12 に示した光アイソレータを用いる場合、送信用信号光の戻り光のみならず、受信用信号光も遮断してしまうため、受信光抽出のための波長分離フィルタ 34 と信号用半導体レーザ 33 との間に光アイソレータを挿入する構成に限られてしまう。このような構成では素子数が多く、それぞれの素子間で光結合における光損失や結合の困難さ、光モジュールのサイズが大きくなる、コストが高くなるといった問題が生じてしまうことになる。

【0019】

本発明はかかる諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、光集積化や低コスト化が可能な光機能素子および光モジュールを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】

本発明による第1の光機能素子は、互いに等価屈折率が異なる2本の光導波路と、前記2本の光導波路を光軸方向に沿って連結する連結部とを備える。

【0021】

本発明による第2の光機能素子は、第1の光導波路と、前記第1の光導波路の等価屈折率よりも低い等価屈折率を有する第2の光導波路と前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを光軸方向に沿って連結し、かつ、多モード干渉導波路として機能する連結部とを備える。

【0022】

ある好適な実施形態において、前記連結部は、前記第2の光導波路を通過する光を多モード伝搬させて、前記第1の光導波路へと結合させる部位である。

【0023】

ある好適な実施形態において、前記第1の光導波路は、その中を通過する光を単一モード伝搬させる。

【0024】

ある好適な実施形態において、前記連結部の等価屈折率は、前記光軸方向に沿って連続的または段階的に変化している。

【0025】

ある好適な実施形態において、前記連結部の等価屈折率は、前記光軸方向と略垂直な方向に沿って連続的または段階的に変化している。

【0026】

本発明による第3の光機能素子は、屈折率が互いに異なる2本の光導波路と、両者を連結する連結部とを備え、前記2本の光導波路のうち、屈折率の大きい光導波路からの入射光は、当該光導波路中を単一モードで伝播し、前記2本の光導波路のうち、屈折率の小さい光導波路からの入射光は、当該光導波路および前記連結部において多モードで伝搬し、それにより、光非相反性が実現されている。

【0027】

本発明による第4の光機能素子は、第1の光導波路と、前記第1の光導波路の等価屈折率よりも低い等価屈折率を有する第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを光軸方向に沿って連結する連結部とを備え、前記連

結部は、前記第2の光導波路の導波路幅を選択に広くすることによって形成されている。

【0028】

ある好適な実施形態において、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、それぞれ、平面光導波路であり、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、水平方向に配置されている。

【0029】

ある好適な実施形態において、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、それぞれ、平面光導波路であり、前記第1の光導波路が下層に位置し、その上層に前記第2の光導波路が位置している、あるいは、前記第2の光導波路が下層に位置し、その上層に前記第1の光導波路が位置している。

【0030】

ある好適な実施形態において、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、それぞれ、コアおよびクラッドから構成されており、前記第1の光導波路の等価屈折率と前記第2の光導波路の等価屈折率との差違は、前記クラッドによって決定されている。

【0031】

ある好適な実施形態において、前記第1の光導波路のクラッドおよび前記第2の光導波路のクラッドは、同一材料から構成されており、前記第1の光導波路のクラッドの厚さと、前記第2の光導波路のクラッドの厚さとの差違によって、前記等価屈折率の差違が決定されている。

【0032】

ある好適な実施形態において、光アイソレータ、光サーキュレータおよびモード変換器のうちの少なくとも1つの機能を有する。

【0033】

本発明による光モジュールは、光アイソレータおよび光サーキュレータの少なくとも一方として機能する光機能素子と、レーザ素子と、受光素子とを含む光モジュールであって、前記光機能素子は、上記光機能素子である。

【0034】

【発明の実施の形態】

本願発明者は、半導体光機能素子等と集積が可能で、素子サイズが小さく、導波路型光サーキュレータとして利用できる光機能素子を開発することを目標として、鋭意研究した結果、光磁気効果を用いることなく、等価屈折率分布によって光の非相反性を持つ光機能素子を実現することに成功し、本発明に至った。また、この光機能素子を光通信用光モジュールに使用すれば、モジュールの簡素化、低価格化、サイズのコンパクト化も図ることができる。

【0035】

以下、図面を参照しながら、本発明による実施の形態を説明する。以下の図面においては、説明の簡潔化のため、実質的に同一の機能を有する構成要素を同一の参照符号で示す。なお、本発明は以下の実施形態に限定されない。

(実施形態1)

図1(a)および(b)を参照しながら、本発明の実施形態1にかかる光機能素子を説明する。図1(a)は、本実施形態の光機能素子100の構成を模式的に示す斜視図であり、図1(b)は、図1(a)中のIB-IB'線に沿った断面図である。

【0036】

図1に示した光機能素子100は、互いに等価屈折率が異なる2本の光導波路(10, 20)と、2本の光導波路(10, 20)を光軸方向50に沿って連結する連結部5とを備えている。2本の光導波路は、第1の光導波路10および第2の光導波路20であり、第1の光導波路10の等価屈折率よりも、第2の光導波路20の等価屈折率の方が低くされている。なお、第1の光導波路10の入出力端子(入出力導波路)を符号1、3として示し、第2の光導波路20の入出力端子を符号2、4として示している。

【0037】

第1の光導波路10と第2の光導波路20とを光軸方向に沿って連結する連結部5は、第2の光導波路20の幅を広くすることによって形成されており、多モード干渉導波路として機能する。この連結部20によって、第2の光導波路20を通過する光を多モード伝搬させて、第1の光導波路10へと結合させることが

できる。なお、第1の光導波路10を通過する光は、そのまま第1の光導波路10を伝搬させて、第2の光導波路20へとは結合しないようにすることができる。つまり、端子1からの光は、端子3へと出力するが、端子4へとは出力しない。一方、端子4からの光は、連結部5を介して、端子1へと出力させることができ、端子2には出力させないことができる。

【0038】

したがって、本実施形態の光機能素子100では、光非相反性が実現されており、それゆえ、光機能素子100は、光アイソレータ、光サーキュレータ、モード変換器として利用することができる。

【0039】

以下、本実施形態の構成をさらに詳述する。図1に示した光機能素子100は、基板6上に、下層クラッド層7、コア層（導波路層）8、上層クラッド層9が下層から順に積層された構造を有しており、いわゆるリッジ導波路構造となっている。なお、クラッド層7および9に挟まれた領域以外のコア層8を除去したハイメサ構造にしても良い。本実施形態では、基板6は、InPからなる基板であり、コア層8は、InGaAsPから構成されており、クラッド層7、9は、InPから構成されている。第1の光導波路10および第2の光導波路20は、それぞれ、基板6上に形成された平面光導波路（PLC）であり、両者とも、下層クラッド層7、コア層8および上層クラッド層9から構成されている。第1の光導波路10および第2の光導波路は、基板6の主面と平行に配置されており、言い換えると、水平方向に配置されている。

【0040】

図1（a）および（b）に示すように、第1の光導波路10と第2の光導波路20とにおいて、コア層8の上層に位置する上層クラッド層9の厚さはそれぞれ異なる。この上層クラッド層9の厚さの違いによって、両者（すなわち、第1および第2の光導波路10、20）の等価屈折率を互いに異なるようにすることができ、したがって、光伝搬方向50に対し左右で非対称な等価屈折率分布を達成することができる。

【0041】

図1に示したような半導体多層構造は、有機金属気相成長（MOCVD）法、分子線エピタキシャル成長（MBE）法や液相エピタキシャル成長（LPE）法等で作製することができる。また、等価屈折率差は、層厚の差、組成、材料、ドーパント及びキャリア濃度の差、吸収係数の差、光閉じ込め係数の差、光偏波・波長依存性差などによって実現することが可能である。なお、等価屈折率とは、光導波路内を伝播する光の伝搬定数と波数との関係を規格化して表した数値であり、実効屈折率とも呼ばれるものである。

【0042】

図2（a）は、本実施形態の等価屈折率分布を示す平面図であり、図2（b）は、端子1から光を入射した場合の伝搬状態を示すシミュレーション結果であり、そして、図2（c）は、端子4から光を入射した場合の伝搬状態を示すシミュレーション結果である。

【0043】

図2（a）中の n_1 、 n_2 、 n_3 は、各領域の等価屈折率を示している。ここでは、 $n_1 > n_2 > n_3$ の関係が成り立つ。連結器5となる多モード干渉領域は、第2の光導波路20の幅を水平方向（光軸方向50に略直角な方向）に延ばしたものであるので、多モード干渉領域5の等価屈折率は、第2の光導波路20の等価屈折率と同じ n_2 となる。

【0044】

図2（a）におけるクラッドの等価屈折率 n_3 は、3.064であり、2つの導波路（導波路幅； $2\mu\text{m}$ ）の等価屈折率 n_1 および n_2 は、それぞれ、3.226、3.189である。ここで、入射光は、波長 $1.55\mu\text{m}$ のTE波とし、連結部5（2つの導波路の接続部）の全長および全幅は、それぞれ $100\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ である。図2（a）に示した等価屈折率分布を持つ素子構造を、広角有限差分ビーム伝搬法によって素子特性を解析した結果が図2（b）および（c）である。

【0045】

以下、図2を参照しながら、本実施形態の光機能素子100が光非相反性を有する原理について説明する。

【0046】

図2 (b) に示すように、入出力端子1から入力した光は、そのまま単一モード伝搬して、入出力端子3へと出力する。これは、入出力端子1から伝搬してきた光が、多モード干渉領域5に入射しようとしても、光が伝搬している領域は他の領域よりも等価屈折率が高いからである。つまり、入出力端子1から入力した光は、他領域に洩れることなく、単一モード伝搬として全反射で入出力端子3へ伝搬していく。

【0047】

一方、図2 (c) に示すように、入出力導端子4から入力した光は、入出力端子3へと出力する。これは、入出力導端子4から入力した光が多モード干渉領域5に入射すると、この領域5の等価屈折率が他方の導波路の等価屈折率より低いため、他方の等価屈折率が高い導波路領域内を含めた領域で光が多モード干渉伝搬をして、入出力端子1から出力されるからである。このように、多モード干渉伝搬を利用することによって、効率良く光を入出力端子1から取り出すことができる。

【0048】

したがって、入出力端子1と入出力端子4とを比べてみれば、光伝搬方向で光出力が異なる光相反性が実現でき、光アイソレータとして利用することが可能である。また、入出力端子1から入射された場合、遮断される光は入出力端子3から取り出すことができ、光伝搬方向別に光を分離する導波路型光サーキュレータとして機能させることも可能である。

【0049】

図2 (b) および (c) の例をもう一度繰り返して説明する。図2 (b) のように、入出力端子1から光が入射した場合、光は等価屈折率の大きい等価屈折率 n_1 領域のみに閉じ込められ、入出力端子3から出力された。一方、図2 (c) のように、入出力端子4から光が入射した場合、等価屈折率 n_1 及び n_2 領域内を多モード干渉伝搬して、ほとんど入出力端子1へ出力された。光伝搬方向に対し左右の等価屈折率が非対称であるため、入力位置によって光出力強度分布が対称ではなくなり、入力方向と出力方向で非対称性が現れた。図2 (a) および (b)

）に示した通り、端子 1 から端子 4 への光伝搬は、 -17 dB 程度減衰されて出力されたが、他方、その反対方向伝搬である端子 4 から端子 1 への光伝搬は、 -3 dB 程度の減衰となっており、本実施形態における素子構造で、光非相反性を実現できることが確認された。

【0050】

入出力端子 1 から入出力端子 4 への出力特性は入力光波長依存性を持っており、この波長依存性を有効に利用することが可能である。また、入出力端子 4 から 0 次モードで入射した光は、入出力端子 1 から 1 次モードとして出力し、モード変換機能を有する。したがって、本実施形態の導波路構造によって、様々なモード変換が可能である。

【0051】

また、図 3 (a) および (b) に示すように、基本モード以外のモードを遮断する入出力導波路構造を採用すれば、0 次モードを出力することも可能である。図 3 に示した構成では、連結部 5 に段差を設けている。より具体的には、第 2 の光導波路 20 の一部の幅を広げるとともに、第 1 の光導波路 10 の一部の幅も広げて、それにより、連結部 5 を作製した構成となっている。このような構成にすれば、第 1 の光導波路 1 の幅では高次モード（すなわち、0 次以外）が存在できず、0 次モードを出力することができる。さらに、端子 4 から 1 次モードとして入力すれば、モード変換されるため、端子 1 から 0 次モードとして出力させることができる。このことは、シミュレーションによって確認している。

【0052】

本実施形態の光機能素子は、非対称構造または非対称屈折率導波路の接続による光非相反性に基づいた光機能素子であり、上述したように、光アイソレータ以外の他の光機能素子としても利用することが可能である。つまり、本実施形態の光機能素子 100 は、 2×2 、 1×2 または複数入力 \times 複数出力構造光導波路の等価屈折率や構造の非対称性を利用した光機能素子であり、光非相反性を有する光機能素子である。

【0053】

本実施形態では、光導波路の接続方法として多モード干渉導波路を例に説明し

たが、それ以外の接続方法（例えば、方向性結合器や、フォトニクス結晶を使った光結合器など）も適用できる。また、入出力端子の幅や構造、入射角度等を調整した形態を適用できる。なお、等価屈折率や導波路幅が異なる構造においても同様な効果が得られる。

【0054】

本実施形態の光機能素子によれば、互いに等価屈折率が異なる2本の光導波路10、20と連結部5とを備えているので、光集積化や低コスト化を図ることができる。すなわち、本実施形態の構成によると、偏光子や磁性材料を用いることなく、半導体レーザ等と集積可能なコンパクトで光導波路型光非相反素子が実現されるので、集積化に適しており、さらには、偏光子や磁性材料の部品も不要であるので、コスト低減を図ることができる。また、素子構成が簡単であるので、小型化にも適している。

【0055】

なお、本実施形態では、導波路を水平方向に配列した構成について説明したが、導波路を垂直方向に積層した構成でも、光非相反性を有する光機能素子を構築することができる。そのような積層した構成（積載構造）を図4に示す。

【0056】

図4に示した光機能素子では、第2の光導波路20が下層に位置し、その上層に第1の光導波路10が位置しており、第2の光導波路20と第1の光導波路10とは連結部5を介して互いに接続されている。もちろん、第1の光導波路20と第2の光導波路10との上下関係を反転させて、第1の光導波路20が下層に位置し、その上層に第2の光導波路20が位置するようにしてもよい。

【0057】

また、導波路を水平方向に配列した場合でも垂直方向に配列した場合でも、連結部5の等価屈折率は、連続的または段階的に変化させることができる。図5（b）は、連結部の等価屈折率を光軸方向50に沿って連続的に変化させた構成を示しており、そして、図5（c）～（e）は、光軸方向50と直角な方向（水平方向）に沿って、連結部の等価屈折率を連続的または段階的に変化させた構成を示している。

【0058】

つまり、図5は、様々な形態の多モード干渉導波路型光機能素子の屈折率分布を示している。連結部の等価屈折率を連続的または段階的に変化させた場合、境界をばかして、光伝搬を損失なくスムーズに変化させることができる。図5(b)は、図5(a)中のB-B'線に沿った断面図であり、図5(c)～(e)は、図5(a)中のA-A'線に沿った断面図である。ここで、符号12、13は、入出力導波路であり、符号14は、接合部であり、そして、符号15は、クラッド領域である。

【0059】

図5(b)は、上述したように、接合部14において光伝搬方向(50)に等価屈折率が連続的に変化した構造を示している。図5(c)は、接合部14において導波路の横にある左右のクラッド領域で等価屈折率が異なる構造(均一屈折率の導波型光サーキュレータ)である。図5(c)のように、導波路12、13の屈折率が均等であっても、導波路左右のクラッド領域の屈折率が異なれば、導波路部の等価屈折率が左右で非対称になるため、光非相反性を有する光機能素子を構築することができる。図5(d)は、接合部14の等価屈折率を連続的に変化した構造を示しており、図5(e)は、接合部14の等価屈折率を段階的に変化した構造を示している。

(実施形態2)

次に、図6および図7を参照しながら、本発明の実施形態に係る光機能素子の製造方法の一例を説明する。本実施形態の製造方法では、基板の上に半導体積層構造を形成した後、その半導体積層構造をエッチングすることによって、本発明の実施形態に係る光機能素子を得る。

【0060】

まず、図6(a)に示すように、InP基板101の上に、InGaAsP導波路層102、InPクラッド層103、InGaAsPキャップ層105、SiO₂層110を下層から積層する。InGaAsPキャップ層105は、InPエッチングストップ層106を含んでおり、当該InPエッチングストップ層106と、上層および下層のInGaAsP層の3層構造となっている。

【0061】

次に、図6（b）に示すように、 SiO_2 層110の上に、レジストを塗布した後、所定の形状にパターンニングして、レジストパターン120を形成する。レジストパターン120は、第1の光導波路、第2の光導波路および連結部を規定する形状を有しており、ここでは、「H」の形状をしている。

【0062】

次に、図6（c）に示すように、レジストパターン120をマスクとして、エッチングを行うことによって、 SiO_2 層110、 InGaAsP キャップ層105（上層）、 InP エッチングストップ層106、 InGaAsP キャップ層105（下層）を選択的に除去し、その後、レジストパターン120を除去する。

【0063】

次に、図6（d）に示すように、レジストを塗布し、次いで、一方の光導波路を覆い、他方の光導波路及び連結部を露出するようにパターンニングすることによって、レジストパターン121を形成する。

【0064】

最後に、図6（e）に示すように、レジストパターン121をマスクとして、露出している方の光導波路および連結部における InGaAsP キャップ層105（上層）を、エッチングストップ層106を利用して、エッチングすることによって選択除去し、その後、レジストパターン121を除去すると、本発明の実施形態に係る光機能素子が得られる。

【0065】

この製造方法によって得られる光機能素子（図6（e））では、 InP 基板6がクラッドとして機能し、そして、 InP クラッド層103および InGaAsP キャップ層105が等価屈折率の差違を設けるためのクラッドとして機能する。図6（a）～（e）に示した製造方法を言い換えると、下層クラッド層、コア層（導波路層）、エッチングストップ層を含む上層クラッド層から構成された半導体積層構造を用意した後、この半導体積層構造の表面（上面）に、第1の光導波路、第2の光導波路および連結部を規定する形状を有するレジストパターン

を形成し、次に、このレジストパターンをマクスとして、2本の光導波路および連結部をエッチングにより作製し、その後、一方の光導波路および連結部（あるいは、一方の光導波路だけ）をエッチングすることにより、互いに等価屈折率が異なる光導波路と、両者を連結する連結部とを有する光機能素子を得る手法である。

【0066】

次に、図7（a）～（e）を参照しながら、本発明の実施形態に係る光機能素子の製造方法の他の例を説明する。

【0067】

まず、図7（a）に示すように、InP基板101の上に、InGaAsP導波路層102、InPクラッド層103、InGaAsPキャップ層105、SiO₂層110を下層から積層した半導体積層構造を用意する。図6（a）に示したものと異なるのは、InGaAsPキャップ層105にエッチングストップ層が含まれていない点である。

【0068】

次に、図7（b）に示すように、SiO₂層110の上の所定の箇所に、レジストパターン122を形成して、レジストパターン122で覆われていないSiO₂層110をエッチングする。レジストパターン122は、半導体積層構造の上面にレジストを塗布した後、パターニングすることによって形成される。ここで、レジストパターン122の一つの端面122aは、2本の光導波路のうちの一方の光導波路の長手方向に延びる端面（より詳細には、他方の光導波路の端面と対向する端面）を規定している。

【0069】

次に、図7（c）に示すように、レジストパターン122を除去した後、SiO₂層110が除去されるまで、SiO₂層110およびInGaAsPキャップ層105をエッチングする。すると、レジストパターン122aの端面122aによって規定された段差を有するInGaAsPキャップ層105が得られる。

【0070】

次に、図7（d）に示すように、InGaAsPキャップ層105上に、レジ

ストパターン 123 を形成する。レジストパターン 123 は、第 1 の光導波路、第 2 の光導波路および連結部を規定する形状を有しており、InGaAsP キャップ層 105 上にレジストを塗布した後、パターニングすることにより形成される。

【0071】

最後に、図 7 (e) に示すように、レジストパターン 123 をマスクとして、InGaAsP キャップ層 105 をエッチングして除去すると、互いに等価屈折率が異なる光導波路と、両者を連結する連結部とを有する光機能素子が得られる。

(他の実施形態)

上述した実施形態では、光導波路として PLC の形態のものを示したが、光ファイバを用いても同様な効果は得ることができる。ただし、光集積化や小型化の観点からは、PLC の形態のものの方が好ましいと言える。上述したように、光導波路構造もリッジ構造、ハイメサ構造のあらゆる光導波路構造において適用可能である。

【0072】

さらに、InGaAsP/InP 材料の光導波路を例として説明したが、材料として GaAs/AlGaAs、GaN 等の他の半導体やニオブ酸チリウムや有機材料やガラス等の誘電体及びそれぞれ異なった材料の組み合わせを用いても良い。

【0073】

なお、上述の実施形態では、専ら受動素子について説明したが、等価屈折率を変調し非対称性を変化させることや、光増幅・減衰機構を導入することで、光サーキュレータの機能を有する光変調器や波長可変フィルタ、光スイッチの光能動素子としても利用することも可能である。それは、例えば、電流注入等によって利得や等価屈折率を制御する構造により実現することが可能である。また、光導波路の接続部またはそれ以外において部分的に光を減衰・増幅させたり、光の位相を制御する構造を採用することにより、より有効に光を分離したり、出力特性を制御したりすることが可能である。

【0074】

本発明の実施形態で示した導波路型光サーキュレータ100を用いた光モジュール200の構成を図8(a)および図8(b)に示す。なお、図8(b)は、図8(a)に示した構成を、一心双方向光モジュールの概念として示した図である。別の言い方をすると、図8(a)は、導波路型光サーキュレータを用いた集積光モジュールを示しており、図8(b)は、光サーキュレータを用いた送受信光モジュールの構成を示している。なお、図8中の「LD」および「PD」は、レーザ素子（例えば、半導体レーザ）および受光素子（例えば、フォトダイオード）を示している。また、図8(a)において符号40は、入出力導波路を示しており、半導体レーザおよび受光素子は入出力導波路40に直接結合されている。

【0075】

図8に示した構成にすることにより、送信光源である半導体レーザ(LD)23の特性を悪化させる反射戻り光を遮断できるとともに、受信光信号を取り出す波長分離フィルタ(図12中の符号34参照)の機能も兼ねることができる。その結果、コンパクトで安価な光モジュールを実現することができる。

【0076】

ここでは、導波路型光サーキュレータ100を用いた一心双方向光モジュール200について説明したが、導波路型以外でも同様に簡素な構成で一心双方向光モジュールを構成することができる。図8(b)に示した概念図において、それぞれの素子間は、光ファイバまたは光導波路または均一媒体（例えば、空気または空間）によって光結合することができ、導波路型以外の光サーキュレータを用いた光モジュールでも、機能の効率化を図ることが可能である。

【0077】

また、全ての素子を半導体材料で作製することによって、導波路型光サーキュレータ100、半導体レーザ22、半導体フォトダイオード23を集積化でき、さらに簡易的かつコンパクトで安価な光モジュールを作成することができる。

【0078】

なお、上記構成において、導波路型光アイソレータまたは導波路型光サーキュ

レータの接続部において、導波路左右のクラッド領域の等価屈折率が異なる非対称構造（図 11 における 30 と 31 のクラッド領域を異なった等価屈折率とする）にしてもよい。これは、クラッドの屈折率が異なると等価的な屈折率を異なるようにすることができるからである。

【0079】

本発明の光機能素子の原理は、光が伝搬する光導波路または光ファイバにおいて、等価屈折率の大きい領域から等価屈折率の小さい領域への光伝搬及び反射特性と、等価屈折率の小さい領域から等価屈折率の大きい領域への光伝搬及び反射特性とが異なることに基づいている。

【0080】

この原理を用い、磁性体材料や光偏光子を用いることなく、等価屈折率差または等価屈折率分布のみで光非相反性またはモード変換機能を有する導波路型光機能素子を実現することが可能である。他の均一屈折率導波路型光サーキュレータにおいても、異なった等価屈折率導波路の接合にすること、または両側のクラッド領域の屈折率を非対称にすることにより、所望の導波路への光閉じ込めを強くすることができるので、素子特性の向上が期待できる。

【0081】

光非相反及びモード変換素子構造としては、等価屈折率または導波路幅が異なる少なくとも 2 つ以上の光ファイバまたは光導波路が接続部で接続または分岐された構造を挙げることができる。あるいは、その接続部において導波路左右のクラッド領域の等価屈折率が異なる構造、またはその接続部が多モード干渉導波路構造のものを挙げることができる。この構造では、少なくとも 2 つ以上の入出力光導波路を持っており、複数の固有横モードを導波可能である多モード干渉光導波路において、構造または等価屈折率が光伝搬方向に対し左右で非対称である構造となっている。さらに、これらの導波路間接続部の等価屈折率が光伝搬方向または光伝搬左右方向に対し、連続的または段階的に変化する構造や、部分的に光の減衰・増幅を与えたり、光位相を変化させたりする機能を導入した構造にしてもよい。

【0082】

本実施形態における光機能素子の素子構造は、入力導波路を1つ以上かつ出力導波路を1つ以上を有しており、等価屈折率分布または構造が、光伝搬左右方向に非対称であることを特徴としている。したがって、本実施形態の光機能素子は、入出力端子間での光の移行を利用した光非相反光機能素子である。複数の固有モードを伝搬する多モード干渉領域を用いて、等価屈折率または構造の異なる2つ以上の光導波路を接続する非対称構造によって、反射率の差のみで光非相反性を有する導波路型光機能素子を実現することを可能としている。

【0083】

本実施形態の構成によれば、磁性体を用いることなく、2つ以上の光導波路が接続または接合する導波路型光アイソレータまたは導波路型光サーキュレータの導波路接続部において、等価屈折率を左右非対称にすることにより、光分布の偏りを助長して所望の導波路への出力を強くして、素子特性を向上させる。導波路型光アイソレータまたは導波路型光サーキュレータの接続部において、導波路左右のクラッド領域の等価屈折率が異なる非対称構造にすることによっても、素子特性を同様に向上させることができる。

【0084】

そして、少なくとも半導体レーザ23と受信用フォトダイオード22とによって構成される光通信用光モジュールに、光サーキュレータ100を用いることにより、戻り光を遮断するだけでなく、受信信号光を取り出す波長分離フィルタ34を不要とすることができ、光モジュールの簡素化、コンパクト化を図ることができる。さらには、磁気光学効果に基づかない導波路型光サーキュレータ100を用いることにより、それぞれの光部品（光機能素子）をレンズフリーで結合でき、コンパクトにすることができる。また、これらの光機能素子をすべて半導体材料で作製することにより、モノリシック集積が可能となり、更なるコンパクト化が可能となる。

【0085】

上述したように、本発明の光機能素子は、これまでの光磁気効果に基づいた光非相反原理ではなく、非対称構造の等価屈折率分布によるまったく新しい原理に基づいている。このため、他の光機能素子との結合が良い光導波路構造でかつ、

ファラデー回転子 25 や偏光子 26 等が不要な単純構造の光非相反素子の実現が可能である。また、原理が等価屈折率分布のみに基づいているため材料選択が不必要であり、低コスト化が可能な半導体レーザ 23 や受光素子 24 と、モノリシック・光集積化を実現することができる。本発明の光機能素子は、出力導波路を複数持つ構造をしているので、接続部での反射光を低減でき、または取り出すために利用することができる。また、分離される光は単一モード伝搬するので、これまでにない導波路型光サーキュレータとして、効率よく光を分離することができる。例えば、多モード干渉導波路構造 5 を用いた場合、素子サイズがコンパクトで、偏光依存度、波長依存度も小さくすることが可能である。

【0086】

つまり、本発明の光機能素子は、互いに等価屈折率が異なる 2 本の光ファイバと、前記 2 本の光ファイバを光軸方向に沿って連結する連結部とを有するものであり、この構成では、導波路間で等価屈折率差があるため、従来の導波路型光アイソレータに比べ高い遮断効果を持たせることが可能となる。また、2 つの導波路を平行とすることができ、他の素子との接合を簡便にする構造を構築しやすく、イズのコンパクト化も図ることができる。さらに、結合長が短く結合効率が良いためにコンパクトで良好な特性を有する光機能素子を実現することができる。加えて、導波路接合面において、多モード干渉による光入射角度が素子特性向上を可能とする。

【0087】

また、本発明の光機能素子は、多くの固有モードが存在できる導波路幅を有する多モード干渉導波路 5 を備えており、この光機能素子は、偏光無依存であるため、偏光無依存の光アイソレータまたは光サーキュレータを実現することができる。本実施形態の多モード干渉導波路 5 の導波路幅は一定であるが、異なるようにしてもよい。2 本の光導波路を挟むクラッド領域の屈折率を非対称にすることによって、等価屈折率を左右非対称にすることもでき、そのようにして、光分布の偏りを助長して所望の導波路への出力を強くし、素子特性の向上を図ることができる。

【0088】

そして、光サーキュレータまたは光サーキュレータ 100 を光モジュールに使用することによって、送信光源である半導体レーザ 23 の特性を悪化させる反射戻り光を遮断できるとともに、受信光信号を取りだす波長分離フィルタ 34 の機能も兼ねることができ、簡素化とコンパクト化が図れる。また磁性体材料が不要なのでモノリシック光集積化が図れ、低価格で可能となる。

【0089】

以上、本発明の好ましい例について説明したが、こうした記述は限定事項ではなく、勿論、種々の変形が可能である。

【0090】

【発明の効果】

本発明の光機能素子によれば、互いに等価屈折率が異なる 2 本の光導波路と、当該 2 本の光導波路を光軸方向に沿って連結する連結部とを備えていることによって、光非相反性が実現されており、その結果、光集積化や低コスト化が可能な光機能素子および光モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) は、本発明の実施形態にかかる光機能素子の構成を模式的に示す斜視図であり、(b) は、(a) 中の I B - I B' 線に沿った断面図である。

【図 2】

(a) は、本発明の実施形態の等価屈折率分布を示す平面図であり、(b) は、端子 1 から光を入射した場合の伝搬状態を示すシミュレーション結果の図であり、そして、そして、(c) は、端子 4 から光を入射した場合の伝搬状態を示すシミュレーション結果の図である。

【図 3】

(a) は、0 次モード出力にするための、多モード干渉導波路型の光機能素子を模式的に示す斜視図であり、(b) は、(a) 中の III B - III B' 線に沿った断面図である。

【図 4】

(a) は、本発明の実施形態にかかる積載構造タイプの多モード干渉導波路型

の光機能素子の構成を模式的に示す斜視図であり、(b)は、(a)中のIVB-IVB'線に沿った断面図である。

【図5】

(a)は、本発明の実施形態にかかる非対称導波路型の光機能素子の構成を模式的に示す上面図であり、(b)は、(a)中のB-B'線に沿った、等価屈折率分布を示す断面図であり、そして、(c)～(e)は、(a)中のA-A'線に沿った、等価屈折率分布を示す断面図である。

【図6】

(a)～(e)は、本実施形態の製造方法の一例を説明するための斜視図である。

【図7】

(a)～(e)は、本実施形態の製造方法の他の例を説明するための斜視図である。

【図8】

(a)は、本発明の実施形態にかかる導波路型光サーキュレータを用いた光モジュールの構成を模式的に示す平面図であり、(b)は、(a)に示した構成を一心双方向光モジュールの概念として示した図である。

【図9】

(a)および(b)は、それぞれ、光アイソレータ及び光サーキュレータの機能の概略を示す図である。

【図10】

従来のバルク型光アイソレータの構成を示す図である。

【図11】

従来の一心双方向光モジュールの構成を示す斜視図である。

【図12】

従来の導波路型光アイソレータの構成を示す平面図である。

【符号の説明】

- 1 入出力端子1 (入出力導波路1)
- 2 入出力端子2 (入出力導波路2)

- 3 入出力端子 3 (入出力導波路 3)
- 4 入出力端子 4 (入出力導波路 4)
- 5 連結部 (多モード干渉領域または導波路接続領域)
- 6 基板 (I n P 基板)
- 7 クラッド層 (I n P クラッド層)
- 8 コア層 (I n G a A s P 導波路層)
- 9 クラッド層 (I n P クラッド層)
- 1 0 第 1 の光導波路 (I n G a A s P 導波路層 ; 等価屈折率大きい)
- 1 2 入出力導波路
- 1 3 入出力導波路
- 1 4 導波路接合部 (連結部)
- 1 5 クラッド領域
- 2 0 第 2 の光導波路 (I n G a A s P 導波路層 ; 等価屈折率小さい)
- 2 2 受光素子 (受信用フォトダイオード)
- 2 3 半導体レーザ (送信用半導体レーザ)
- 2 5 磁性体
- 2 6 偏光子
- 2 7 入出力導波路
- 2 8 入出力導波路
- 2 9 光吸収領域
- 3 0 クラッド領域
- 3 1 クラッド領域
- 3 2 モニタ用フォトダイオード
- 3 3 半導体レーザ
- 3 4 波長分離フィルタ
- 3 5 受信用フォトダイオード
- 3 6 光ファイバ
- 3 7 V 溝 S i プラットホーム
- 3 8 ガラス基板

4 0 入出力導波路

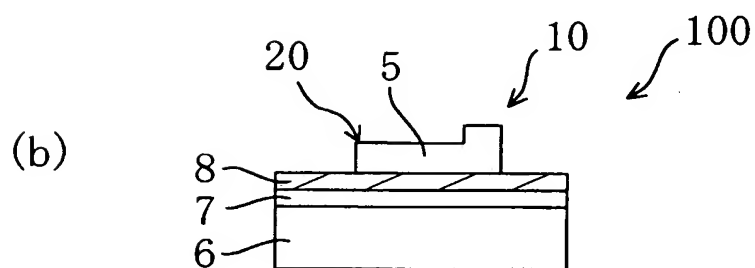
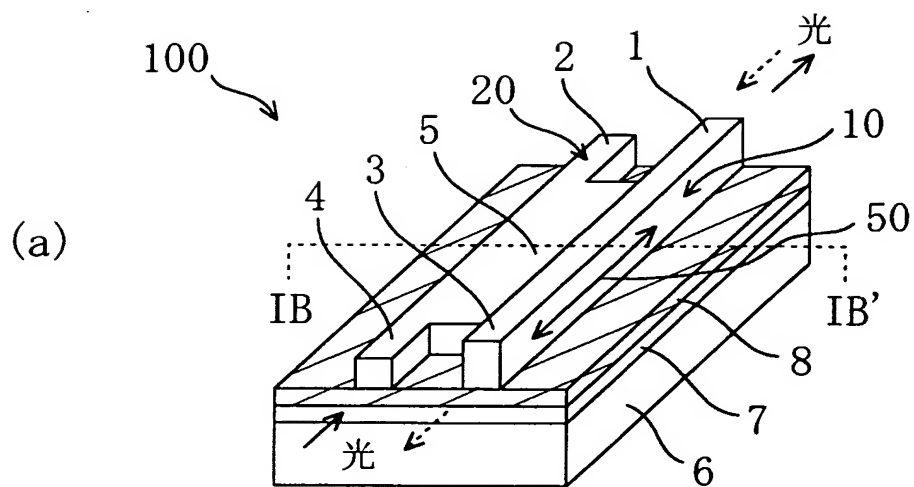
5 0 光軸方向（光伝搬方向）

1 0 0 光機能素子（光アイソレータ、光サーキュレータなど）

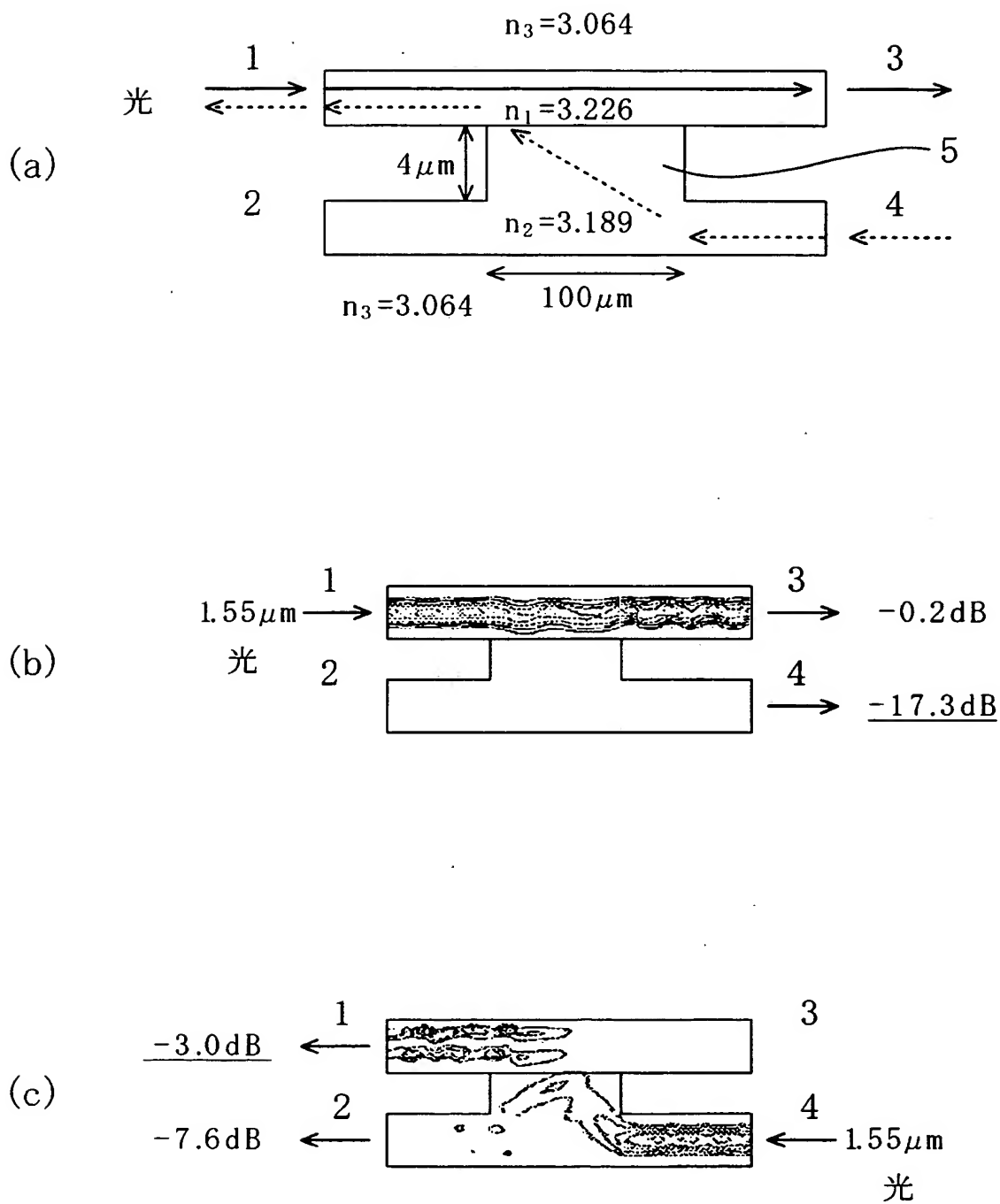
2 0 0 光モジュール

【書類名】 図面

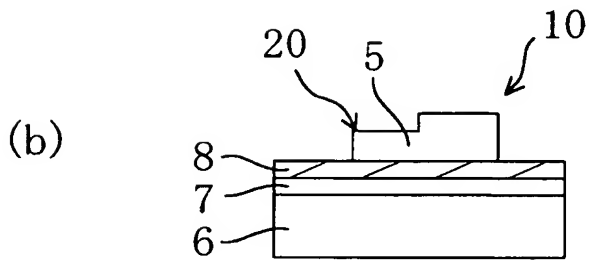
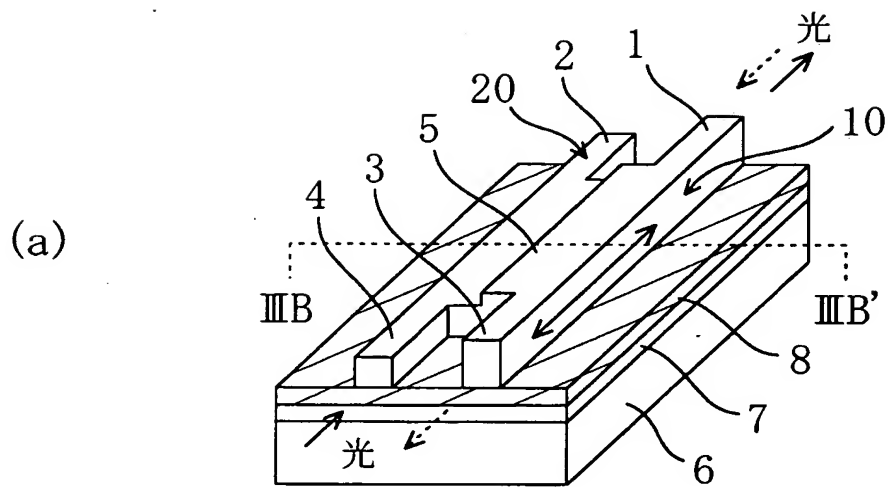
【図 1】



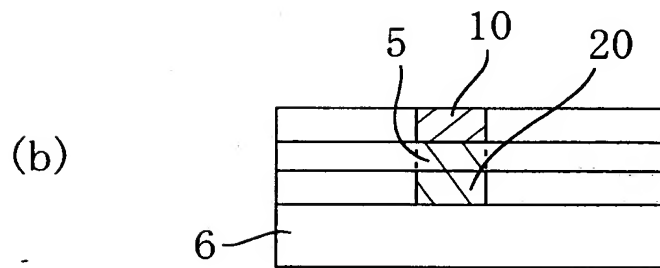
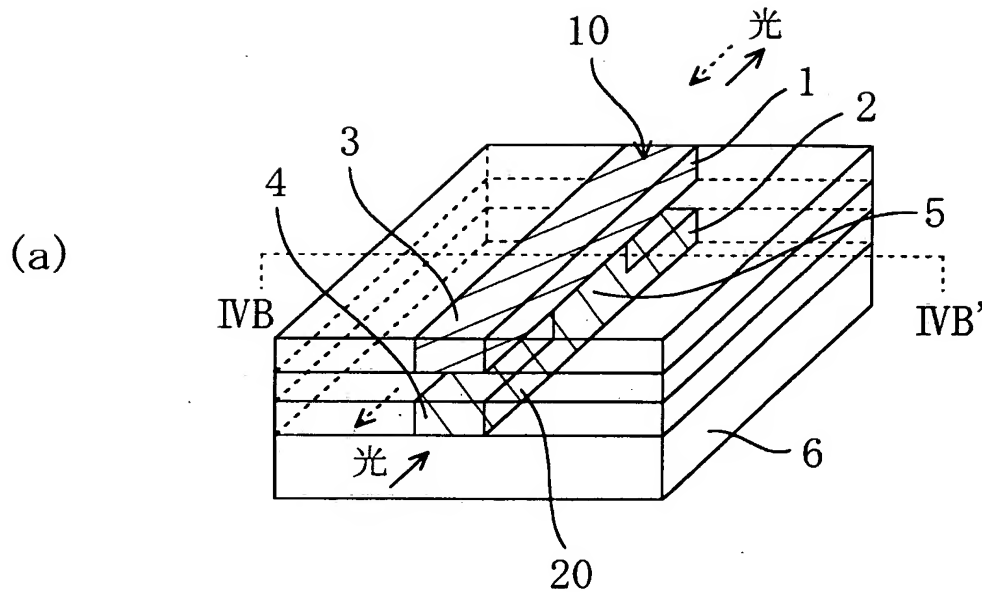
【図 2】



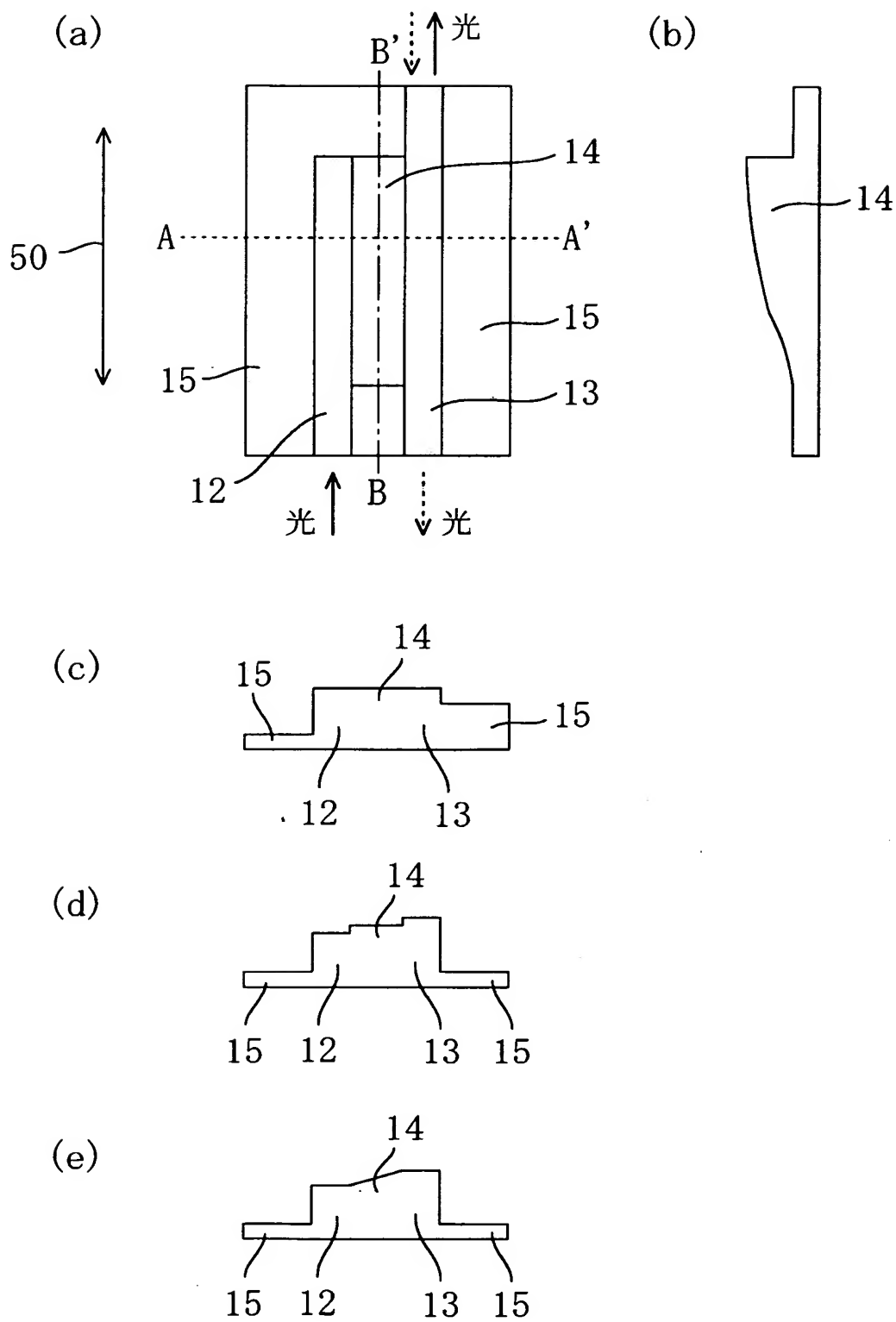
【図 3】



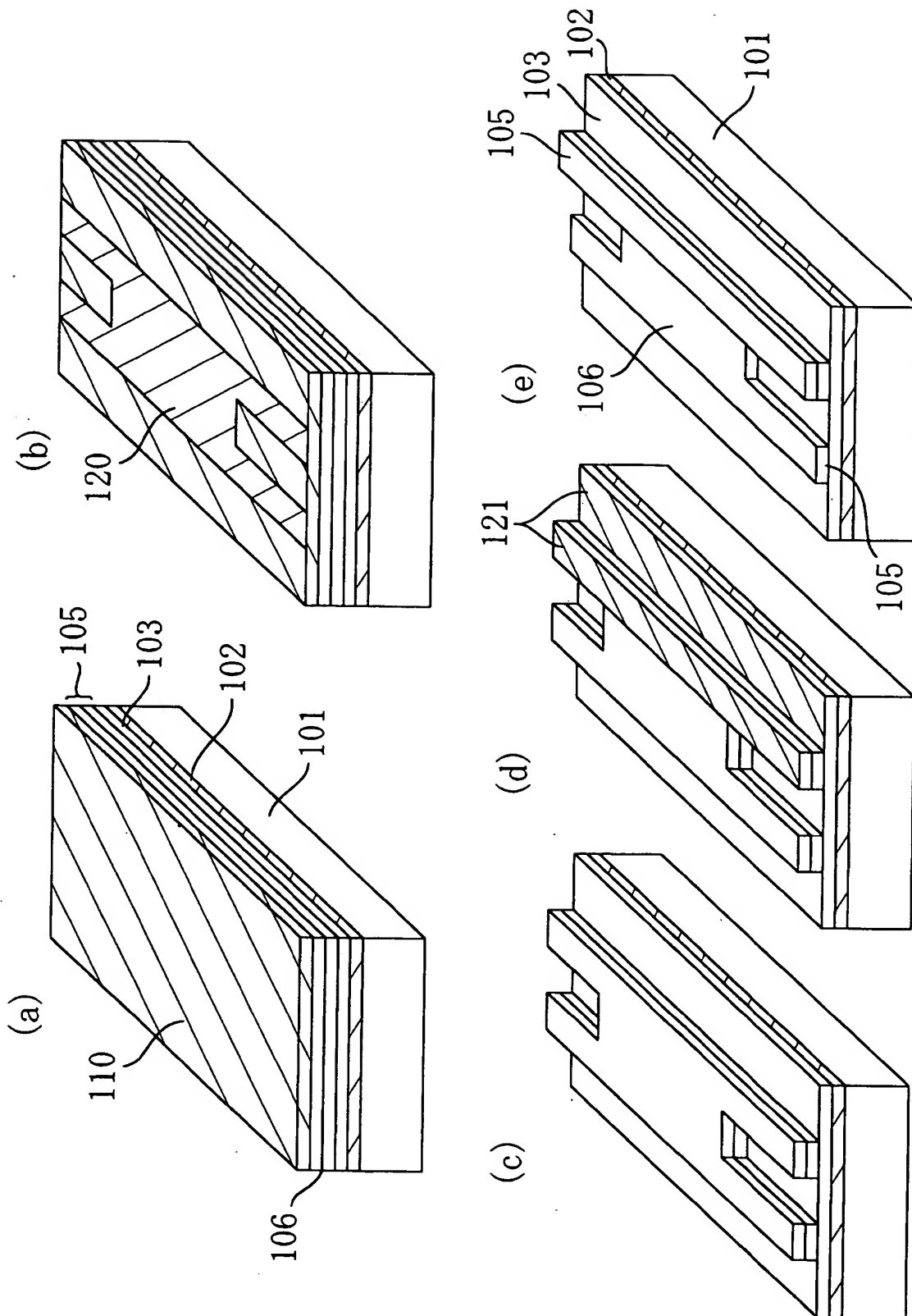
【図 4】



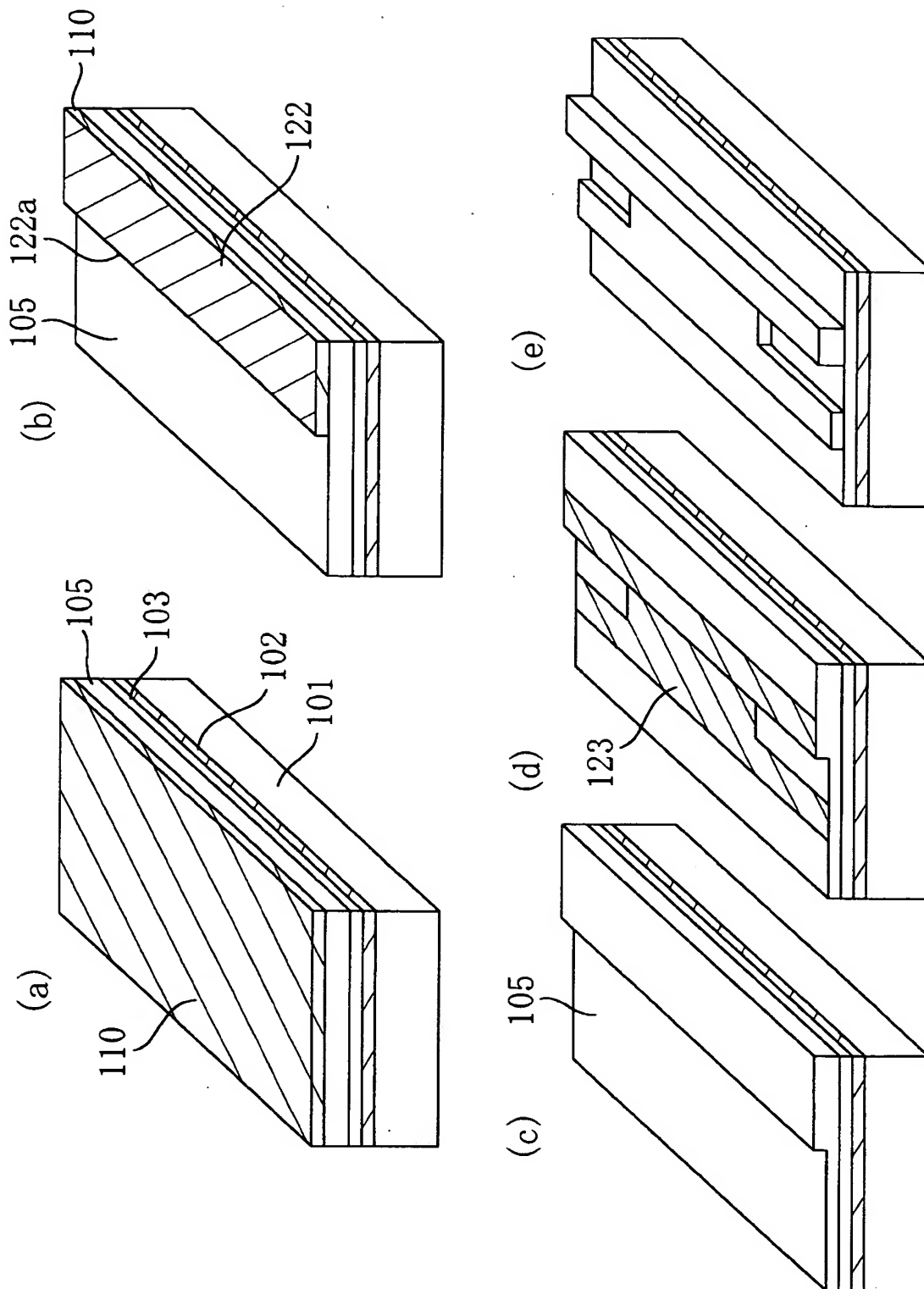
【図 5】



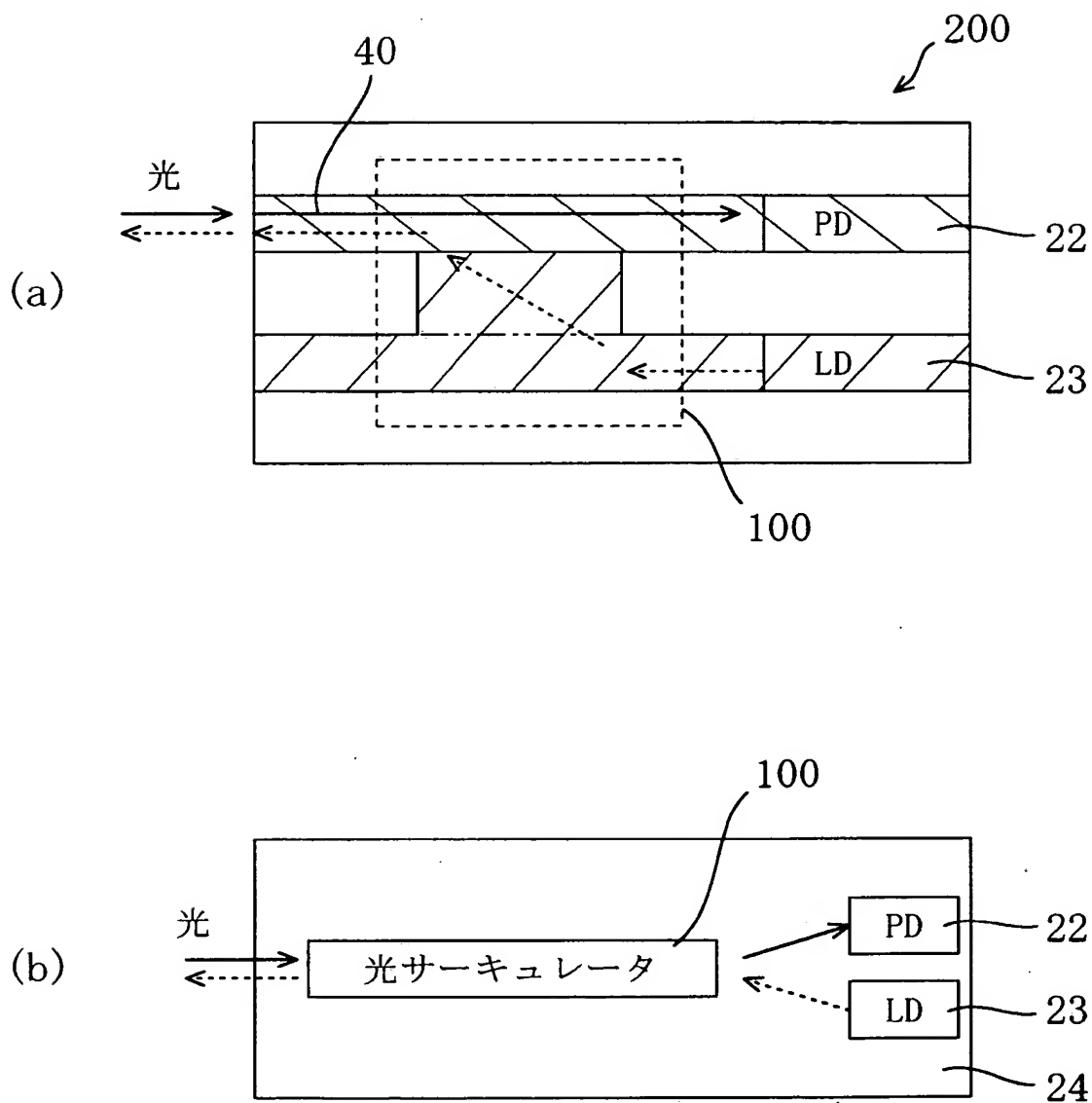
【図 6】



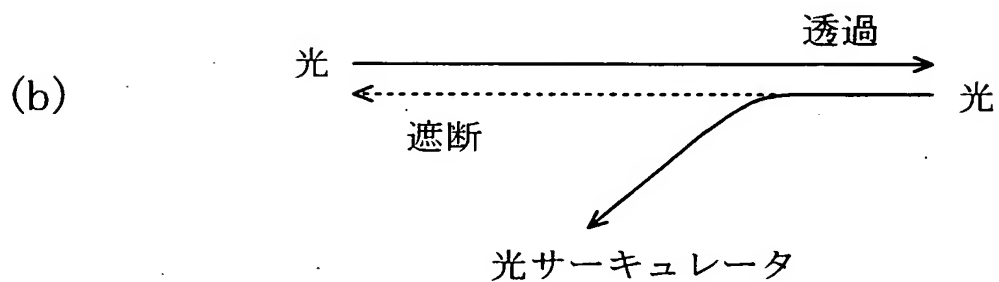
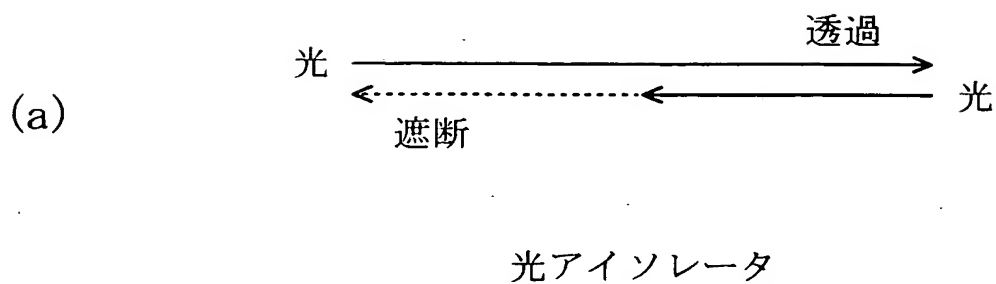
【図 7】



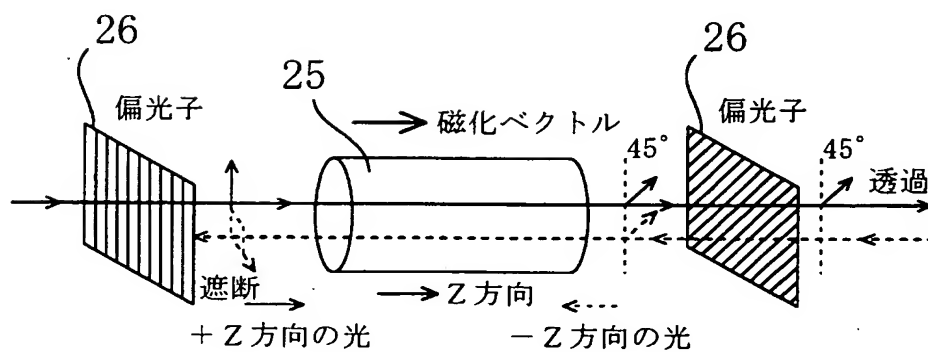
【図 8】



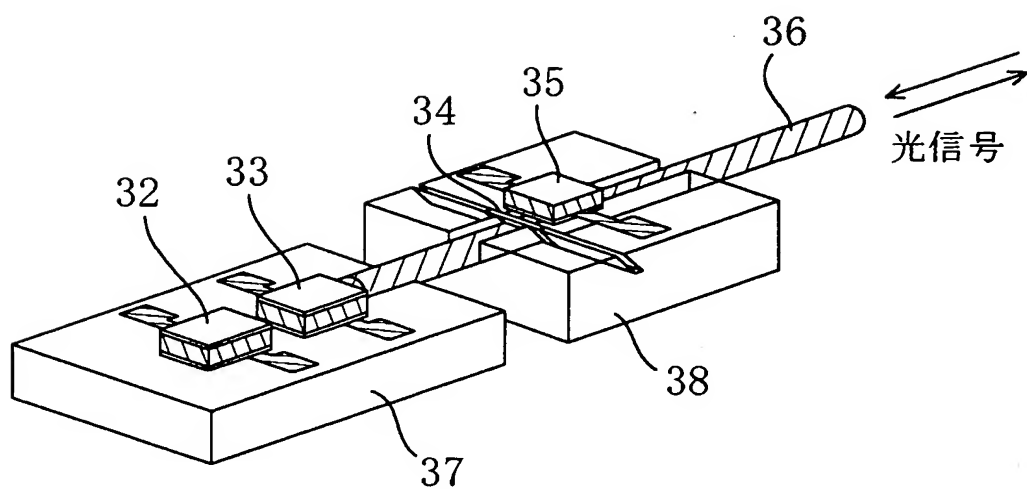
【図 9】



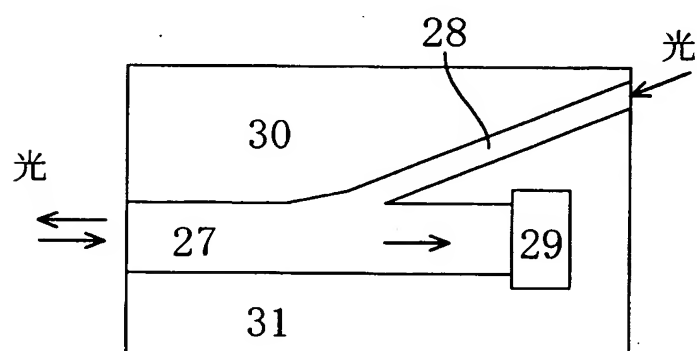
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光集積化や低コスト化が可能な光機能素子を提供すること。

【解決手段】 互いに等価屈折率が異なる 2 本の光導波路 (1 0, 2 0) と、2 本の光導波路 (1 0, 2 0) を光軸方向 (5 0) に沿って連結する連結部 5 とを備えた、光機能素子 1 0 0 である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 4 0 7 0 3

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社